Aus der Abteilung für Zahnärztliche Prothetik I
Ärztlicher Direktor: Professor Dr. E. Körber
des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Universität Tübingen

EINFLUSS DER VERBLENDUNGSSTÄRKEN KERAMISCHER MASSEN AUF DIE DIMENSIONSÄNDERUNGEN DES METALLGERÜSTES WÄHREND DES AUFBRENNVORGANGES

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde

der
MEDIZINISCHEN FAKULTÄT
(Klinische Medizin)
der Eberhard-Karls-Universität
Tübingen

vorgelegt von

Klaus Scharschmidt
aus Stuttgart

1986

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41543928_0122

Aus der Abteilung für Zahnärztliche Prothetik I
Ärztlicher Direktor: Professor Dr. E. Körber
des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Universität Tübingen

EINFLUSS DER VERBLENDUNGSSTÄRKEN KERAMISCHER MASSEN AUF DIE DIMENSIONSÄNDERUNGEN DES METALLGERÜSTES WÄHREND DES AUFBRENNVORGANGES

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde

der
MEDIZINISCHEN FAKULTÄT
(Klinische Medizin)
der Eberhard-Karls-Universität
Tübingen

vorgelegt von

Klaus Scharschmidt
aus Stuttgart

1986

Dekan:	Professor Dr. W. Schulte
1. Berichterstatter:	Privatdozent Dr. W. B. Freesmeyer
2. Berichterstatter:	Professor Dr. H. Weber

Offsetdruck Spengler
Lessingstraße 4 · 7401 Neustetten 1
Telefon (0 74 72) 2 21 45

INHALTSVERZEICHNIS

		Seite
I.	EINLEITUNG	1
II.	LITERATUR	3
III.	MATERIAL UND METHODE	6
3.1.	Material	6
3.2.	Laborarbeiten	7
3.2.1.	Herstellung der stilisierten Brückengerüste	7
3.2.2.	Die Brände	10
3.3.	Versuchsanordnung	11
3.4.	Meßmethode	12
3.4.1.	Wahl der eigenen Meßmethode	12
3.4.2.	Wahl der Meßmarke	13
3.4.3.	Anordnung der Meßmarken	14
3.4.4.	Durchführung der Messung	16
3.5.	Rechengang für die Koordinatentransformation	18
3.6.	Statistik	19
IV.	ERGEBNISSE	22
V.	DISKUSSION	35
VI.	ZUSAMMENFASSUNG	39
VII.	LITERATURVERZEICHNIS	41

ANHANG
Tabellen, Danksagung, Lebenslauf

I. EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

An die Ästhetik des Zahnersatzes wurden in der restaurativen Zahnheilkunde in den letzten Jahren von Patienten sowie auch von Zahnärzten immer höhere Ansprüche gestellt. In den sechziger Jahren versuchte man mit Hilfe der Einführung der Aufbrennkeramik diesen Ansprüchen Rechnung zu tragen. Die dabei auftretenden Probleme in der Haftung des Porzellans auf dem Metall konnten nach und nach verbessert werden. Der Paßgenauigkeit dieser Arbeiten wurde anfänglich jedoch nur wenig Bedeutung zugemessen. Man erkannte aber allmählich, daß Zahnersatz mit Aufbrennkeramik beim Einprobieren nicht mehr die gleiche Paßgenauigkeit hatte wie das vorherige Gerüst. Es stellte sich also die Frage, welche Veränderungen bei Metallkeramikbrücken durch den Aufbrennprozeß hervorgerufen werden. Mit dieser Problemstellung befassen sich auch die Arbeiten von FREESMEYER (6), von FREESMEYER, HAMBROK und KÖRBER (5) und von SCHWICKERATH (14). Metallgerüste, die mit keramischen Massen verblendet werden, erfahren - durch den Aufbrennprozeß physikalisch bedingt - Dimensionsänderungen und beeinflussen letztlich die Paßgenauigkeit einer Metall-Keramik-Konstruktion. Physikalische Parameter wie Härte, Elastizitätsmodul, Festigkeitswerte, Soliduspunkt und Schmelzintervall der Legierung, Haftung der keramischen Masse, unterschiedliches thermisches Ausdehnungsverhalten von Metall und Keramik und des zeitlichen Wärmebehandlungsablaufes des Aufsinterns der keramischen Masse auf das Metallgerüst sowie Form und Abmessung von Metall und keramischer Masse und die Verarbeitung dieser Materialien beeinflussen die Dimensionsänderungen.

Von FREESMEYER (6) wurde an sechsgliedrigen Brückengerüsten die Dimensionsänderungen bei Metall-Keramik-Brücken mit Edelmetallegierung untersucht.

In der hier vorliegenden Arbeit wurden nun ähnliche Brückengerüste aus einer Spargoldlegierung hergestellt und der Einfluß der Schichtdicke der keramischen Masse bei gleichen Brückenabmessungen auf die Dimensionsänderung des Brückengerüstes während des Aufbrennvorganges untersucht.

II. LITERATUR

Zum Zeitpunkt der vorliegenden Untersuchung in den Jahren 1981 und 1982 gab es wenig Literatur, die sich mit der Paßgenauigkeit bzw. Dimensionsänderung der Metallkeramik befaßte. Aus den Untersuchungen von EICHNER (3), MCLEAN (10) und SCHWICKERATH (14) ist bekannt, daß sowohl das Brückengerüst als auch die keramische Masse nach dem Aufbrennen einer Schrumpfung unterliegen. Die Frage nach dem Ausmaß dieser Veränderungen führte zu der Arbeit von FREESMEYER (6), in der die relativen Dimensionsänderungen durch die verschiedenen Brände an stilisierten Brückengerüsten gemessen wurden. In der nun vorliegenden Arbeit soll als Weiterführung gezeigt werden, welchen Einfluß die Keramikschichtdicke auf Dimensionsänderungen der Brückengerüste hat.

Viele neuere Untersuchungen erhellen jetzt das Bild der multikausalen Zusammenhänge bezüglich Paßgenauigkeit von Metallkeramikkonstruktionen. Einen Überblick über die Haupteinflüsse auf Dimensionsänderungen des Brückengerüstes gibt die Abb. 1 wieder. Natürlich sind Rückkopplungen und eine Vernetzung der einzelnen Einflußgrößen untereinander vorhanden. Bei MEINERS (12) wird als Sicherheit gegen plastische Deformation ein hoher Wert des Elastizitätsmoduls E sowie ein hoher Wert der Streckgrenze der Legierung angegeben. Um auf jeden Fall die für die Keramik besonders kritischen Zugspannungen zu vermeiden, wird der Ausdehnungskoeffizient der Legierung geringfügig größer gewählt. Dadurch gerät beim Abkühlen die keramische Verblendung unter Druckspannung und das Metallgerüst unter Zugspannung.

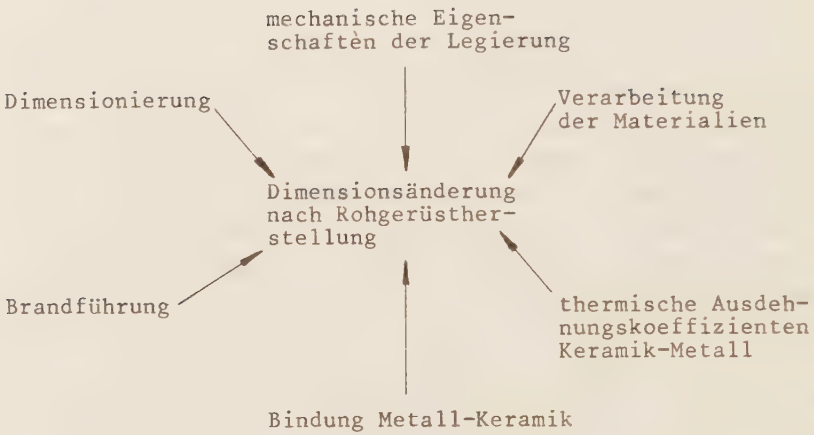


Abb. 1: Übersicht der Einflüsse auf Dimensionsänderungen des Brückengerüstes nach Rohgerüstherstellung

Auch die Ausdehnungskoeffizienten der keramischen Masse können sich im Verlauf der Brände ändern. Dies bestätigt DORSCH (4, 107-118) im Kapitel "Wärmespannungen in Metall-Keramiksystemen". Ein streifenförmiger Verbundkörper Metall/Keramik erfährt mit der Anzahl der Brennprozesse eine abnehmende Ausbiegung, d. h., daß die Differenz der Ausdehnungskoeffizienten mit jedem Brand geringer wird. Da die Legierung im allgemeinen einen von der Wärmevorgeschichte unabhängigen Ausdehnungskoeffizienten besitzt, muß der Wärmeausdehnungskoeffizient der Dentalkeramik zunehmen. Die Dentalkeramik folgt den Formänderungen des Metallsubstrates oberhalb des beginnenden Transformationsbereiches bei etwa 550°C durch plastisches Fließen. Bei einer verzögerten Abkühlung, d. h. der Ofendeckel wird am Ende der Haltezeit nicht geöffnet, nimmt der Ausdehnungskoeffizient teilweise beträchtlich zu, ebenso mit einer steigenden Anzahl von Brennprozessen.

DORSCH (4) untersuchte insgesamt 45 Legierungstypen und stellte dabei fest, daß bei Legierungen vom Palladium-Silber-Typ (Pd-Ag-Typ) die höchsten Ausdehnungskoeffizienten auftreten. In der von FREESMEYER (6) vorgenommenen Untersuchung wurde eine bereits in den Anfängen der Metallkeramik und auch heute noch mit Erfolg verarbeitete Legierung vom Au-Pt-Typ verwendet, während im Gegensatz dazu den Versuchen der vorliegenden Arbeit eine Legierung vom Pd-Ag-Typ zugrundeliegt. In Tab. 1 sind die unterschiedlichen Werte dieser beiden Dentallegierungen wiedergegeben.

Handelsname	n	Legierungstyp	25 bis 500°C	25 bis 600°C
Degudent U	6	Au-Pt	13,87 ± 0,06	14,09 ± 0,05
Simidur	6	Pd-Ag	15,32 ± 0,12	15,61 ± 0,07

Tab. 1: Mittlere lineare thermische Ausdehnungskoeffizienten mit Standardabweichungen ($10^{-6} \times K^{-1}$) aus n Messungen von Dental-Legierungen (nach DORSCH, 4, Tab. 2, 114)

III. MATERIAL UND METHODE

3.1. Material

Für die vorliegende Untersuchung stand die Spargoldlegierung "Simidur" (Tab. 2) der Firma Wieland, Pforzheim; zur Verfügung. Nach Definition von EICHNER (3) werden als Spargoldlegierung solche Legierungen bezeichnet, die vorzugsweise Silber (18-40 Gewichtsprozent) und Palladium (29-60 Gewichtsprozent) enthalten, während der Anteil an Gold (40-2 Gewichtsprozent) beträgt. Für die Versuche wurde die gleiche stilisierte Brücke von FREESMEYER (6) verwendet, die die Abmessung einer sechsgliedrigen Brücke vom Front- zum Seitenzahngebiet aufwies.

Typ Farbe		extrahart weiß
Vickershärte	HV 5/30	s 225 / n 210 / v 240
Zugfestigkeit	daN/mm^2	n 77 / v 91
0,2 Dehngrenze	daN/mm^2	n 73 / v 87
Bruchdehnung	%	n 12 / v 4
Spez. Gewicht	g/cm^3	10,8
empfohlene Vorwärmetemperatur	^{o}C	850
Schmelzintervall	^{o}C	1180-1245
Gießtemperatur	^{o}C	1350
Vergüten	^{o}C/min	600/15
Weichglühen	^{o}C/min	950/15
Lote-Arbeitstemperatur	^{o}C/min	Vor dem Brand: Simidur V-1040 Nach dem Brand: Simidur N-750
Indikationen	Kronen und Brückengerüste für die Aufbrenntechnik	
Lieferform	Gußplättchen	

s = Selbstaushärtung bei langsamer Abkühlung
n = nach dem Brand
v = vergütet

Tab. 2: Technische Daten der Legierung "Simidur" (von Firma Dr. Th. Wieland, 7530 Pforzheim)

In Tab. 3 sind die Maße vor der Verblendung und die Verblendungsstärke angegeben. Die Brücke besteht aus drei Pfeilerkronen und aus zwei Zwischengliedern mit einer Länge von 8,1 und 11,2 mm, die in einem Winkel von 138,2° zueinander versetzt stehen.

3.2. Laborarbeiten

3.2.1. Herstellung der stilisierten Brückengerüste

Aus der Arbeit von FREESMEYER (6) stand für die stilisierten Brücken eine Gießform aus Polyäther zur Verfügung (Abb. 2).

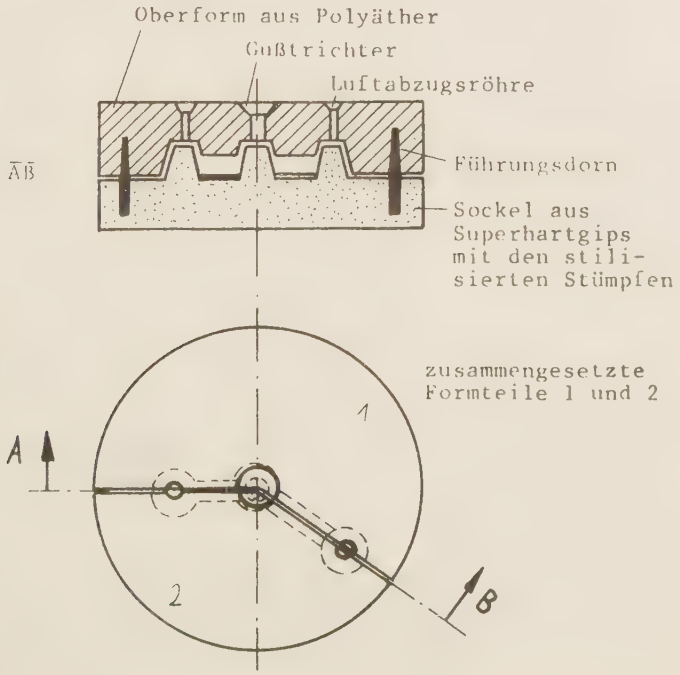
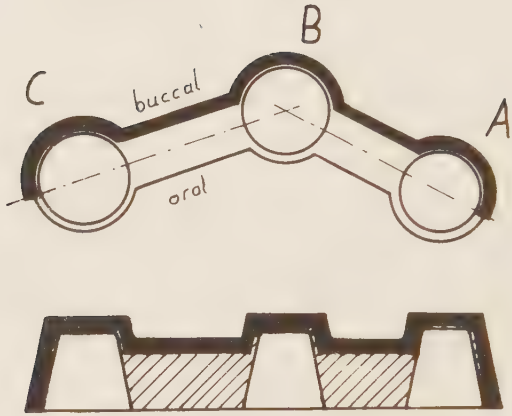


Abb. 2: Gießmodell der stilisierten Brücke



Aufsicht auf Unterseite der Meß-gravuren

Maße:	Krone A	7,1 ± 0,2	mm
	Krone B	7,4 ± 0,3	mm
	Krone C	8,4 ± 0,3	mm
	Höhe:	7,8 ± 0,3	mm
	Wand oral	1,1 ± 0,2	mm
	Wand buccal	0,6 ± 0,2	mm
Stege:	Länge A-B	8,1 ± 0,2	mm
	Länge B-C	11,2 ± 0,2	mm
Stegabmessungen:	a	2,0 ± 0,1	mm
	b	3,7 ± 0,2	mm
	c	4,2 ± 0,2	mm

Schenkelwinkel: 138,2°

Keramikstärke: 5 Brücken: 1,9 ± 0,2 mm
5 Brücken: 0,5 ± 0,15 mm

Tab. 3: Maße der Brücke vor der Verblendung und Verblendungsstärke

Nach dem Isolieren der Form und der Stümpfe mit dem Trennmittel "Lube" (Firma Dentaurum, Pforzheim) wurde diese Form im Klimaschrank bei 60°C sieben Minuten vorgewärmt. Das Gießwachs entstand aus einer Mischung 1:1 von Setec^{R} grün und Setec^{R} blau (Firma Bayer, Leverkusen). Das Wachs wurde in einem Glas über einem Bunsenbrenner verflüssigt und dann in den Gußtrichter der vorgewärmten Form gegossen. Nach zirka einer halben Stunde war die Form und das Wachs abgekühlt, und die Brücke konnte nach Zerlegen der Form von den Stümpfen abgenommen werden. An jeder Pfeilerkrone wurde ein Wachsstift mit einem Durchmesser von 4 mm angebracht und das Ganze auf den Gußtrichterformer (Firma Degussa, Pforzheim) aufgestellt. Mit dem Wachsentspannungsmittel "Xynon-Spray" (Firma Dentax-Dental, Karlsruhe) wurde das Wachsmodell eingesprüht und darüber eine Gußküvette 3X mit Asbestauskleidung auf den Gußtrichterformer aufgesetzt. Nun wurde Heravest^{R} (Firma Heraeus, Hanau) mit 75%iger Konzentration der Anmischflüssigkeit nach Vorschrift im Vacu-Einfüllbecher mit dem Multivac (Firma Degussa, Pforzheim) angemischt und in die Gußküvette unter leichter Vibration eingefüllt.

Der Guß erfolgte mit dem Vakuum-Druck-Gießgerät Combilabor^{R} (Firma Heraeus, Hanau). Die Gießtemperatur betrug 1 350°C. Nach Entfernung der Einbettmassen wurden die Brücken abgestrahlt, die Gußstifte mit Trennscheiben abgetrennt sowie mit Diamantinstrumenten versäubert. Zur exakten Messung unter dem Auflichtmikroskop ist ein Planschliff der zu vermessenden Fläche erforderlich. Das Planschleifen der Brückengerüste geschah auf einer Horizontalschleifmaschine (Firma Jean Wirtz, Düsseldorf):

1. Naßschleifen mit Siliziumkarbidpapier der Körnungen 180, 240, 320, 400 und 600,
2. Polieren mit Diamantpaste 3 µm und anschließend 1 µm.

3.2.2. Die Brände

Jeweils vor dem Brand wurden Verunreinigungen und Fettrückstände abgestrahlt. Dies geschah mit dem Strahlgerät "Bego Ministar" (Firma Bego Bremer Goldschlägerei, Bremen) und mit weißem Aluminium-Strahlmittel "Edelkorund micro^{R}". Ein Abstrahlen nach dem Oxidbrand war nach den Beobachtungen von FREESMEYER (7) und KNOSP (9) möglich, da die Haftung der Keramik am Metall nicht unbedingt an einen Oxidbrand gebunden ist. Nach dem Abstrahlen werden die Brückengerüste nochmals mit reinem Alkohol gereinigt. Auf eine absolut saubere Gerüstoberfläche war zu achten.

Die Brände erfolgten im "Vita Austromat 2001 A" (Firma Vita, Bad Säckingen). Um die eingravierten Meßmarken auf der Unterseite der Brückengerüste ablesen zu können, mußte die Oxidbildung unterdrückt werden, d. h. die gesamte Brandführung lief in einer reduzierenden Gasatmosphäre ab. Deshalb wurde das Brückengerüst in einen Metalluntersatz (Abb. 3) gebracht, in dessen Sumpf sich Aktivkohle (Aktivkohle reinst von der Firma Merck, Darmstadt) befand. Das Brückengerüst stand auf Stiften in diesem Brennträger und tauchte nicht in die Aktivkohle ein. Der Brennvorgang mußte von Hand gesteuert werden, weil kein Programm für die spezielle Brandführung zur Verfügung stand. Bei kaltem Ofen wurde das Brenngut in die Brennkammer eingefahren und danach unter Vakuum gestellt. Nach Einschalten

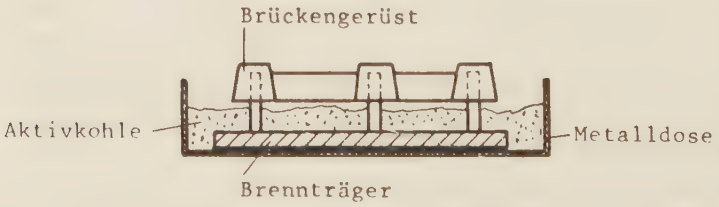


Abb. 3: Brückengerüst vorbereitet für Brennvorgang

der Heizung und schrittweisem Verstellen des Temperatursollwertzeigers 50°C/min wurde das Brückengerüst auf die Arbeitstemperatur gebracht. Die Arbeitstemperaturen wurden jeweils nach Vorschrift (Tab. 4) für die "Simidur"-Legierung (Firma Wieland, Pforzheim) und "Vita VMK-68" Keramikmassen (Firma Vita, Bad Säckingen) zeitlich gehalten. Nach Ablauf der Zeit oder Erreichen der gewünschten Solltemperatur konnte die Heizung ausgeschaltet werden. Man ließ den ganzen Ofen mitsamt dem Brenngut unter Vakuum auf Zimmertemperatur abkühlen und erreichte durch die reduzierende Gasatmosphäre gut ablesbare, nicht verzunderte Meßmarken.

	Temperatur	Verweildauer
Oxidbrand	ca. 990°C	10 Minuten
Grundbrand	ca. 985°C	Abschalten nach Erreichen der Solltemperatur
Dentinbrand	ca. 955°C	Abschalten nach Erreichen der Solltemperatur

Tab. 4: Brenntemperaturen für "Simidur"-Legierung und "Vita VMK-68" Keramikmassen

3.3. Versuchsanordnung

Insgesamt wurden elf Brückengerüste angefertigt und vermessen. Um den Einfluß der Schichtdicke der Keramik auf die Dimensionsänderung der Brückengerüste festzustellen, wurden:

1) 5 Brücken mit 2 mm Schichtdicke verblendet,
2) 5 Brücken mit 0,5 mm Schichtdicke verblendet und
3) 1 Kontrollbrücke nicht verblendet.

Die Messung erfolgte jeweils:

a) beim Rohgerüst = 1. Messung
b) nach dem Oxidbrand = 2. Messung
c) nach dem Grundbrand = 3. Messung
d) nach dem Dentinbrand = 4. Messung

3.4. Meßmethode

3.4.1. Wahl der eigenen Meßmethode

In der Arbeit von FREESMEYER (6) wurden nur relative Dimensionsänderungen erfaßt. Das Ziel der vorliegenden Arbeit war es, auch Aussagen darüber zu machen, wie sich die Meßpunkte zu einem Bezugspunkt ändern. Hierfür war erforderlich, die Brücken absolut zu vermessen. Die Brücken hatten die Abmessungen von ca. 40 mm auf 20 mm. Da die Brükken aus einer Silber-Palladium-Legierung bestanden und trotz Unterdrückung der Oxidbildung einen sehr schlechten Kontrast im Auflichtmikroskop ergaben, war eine große Auflösung bzw. Vergrößerung erforderlich, um den Kontrast für die Einstellung des Meßkreuzes im Meßmikroskop steigern zu können. Leider war kein Meßmikroskop mit diesem großen Verfahrweg von 40 mm und einer großen Auflösung bei den angesprochenen Instituten vorhanden. Deshalb wurde eine Trennung des Systems in drei Teilsysteme (Abb. 4) mit einem Meßraum von 20 x 20 mm vorgenommen. Bei der späteren Auswertung wurden die drei Teilsysteme mittels Koordinatentransformation wieder zu einem System zusammengefügt, indem die Punkte 1 = 1', 2 = 2', 3 = 3' und 4 = 4' gesetzt wurden.

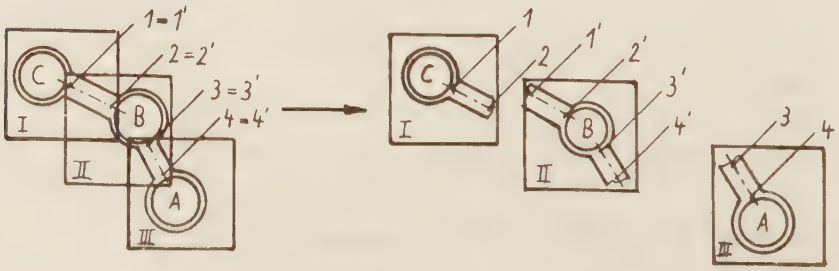


Abb. 4: Trennung der Brücke in drei Teilsysteme

3.4.2. Wahl der Meßmarke

Auf der hochglanzpolierten Metallunterseite des Brückengerüstes wurden verschiedenartige Meßgravuren angebracht. Der Meßfehler sollte beim Einstellen des Meßkreuzes im Okular an die Meßmarke des Objektes am kleinsten ausfallen. Zum Anbringen der Meßmarken stand der Kleinhärteprüfer "Durimet" (Firma Ernst Leitz GmbH, Wetzlar) zur Verfügung. Mit dem Prüfdiamanten der Härteprüfung nach "Vickers" konnten Vickers-Eindrücke im Metall gesetzt werden. Die Größe der Eindrücke ließ sich durch Auflegen von verschiedenen Gewichten auf den Auflageteller des Prüfdiamanten variieren. Ritzungen im Metall erhielt man, indem der Prüfdiamant auf die Oberfläche abgesenkt wurde und dann das Objekt auf dem Meßtisch mittels der Feinmeßspindeln unter dem Prüfdiamanten fortbewegt wurde. Die Ritzung ergab einen ca. 3 µm breiten fransigen Randverlauf, der zudem nach geringer Oxidation der Grundfläche einen schlechten Kontrast bei der Einstellung bot. Eine gute Einstellung konnte mit einem Vickers-Eindruck bei 150 g Prüfgewicht erreicht werden. Der Meßpunkt wird durch den Schnittpunkt der beiden Diagonalen gebildet.

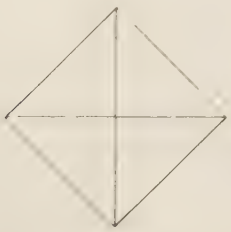


Abb. 5: Vickers-Eindruck

Dieser Eindruck ließ sich durch die vorhandene Symmetrie (Abb. 5) sehr gut mit dem Auge einstellen. Das Fadenkreuz im Okular mußte dann mit den Ecken des Pyramideneindruckes zur Deckung gebracht werden. Selbst bei einer geringfügigen Verdrehung des Vickers-Eindruckes zum Fadenkreuz konnte die Mitte genau eingestellt werden, indem mit dem Auge die Abstände a und b gleich groß gewählt wurden (Abb. 6). Dies war zulässig, da bei vorhandener Symmetrie das Auge sehr genau mitteln kann und der Fehler dabei weit unter der Meßgenauigkeit lag.

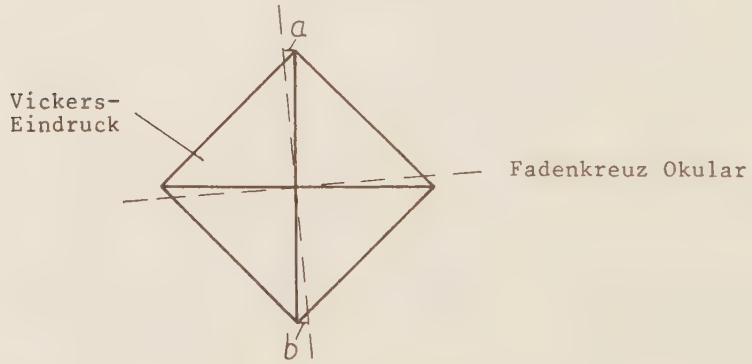


Abb. 6: Einstellung des Fadenkreuzes auf die Diagonalen des Vickers-Eindruckes

3.4.3. Anordnung der Meßmarken

Um bei 400facher Vergrößerung die Meßmarken von ca. 30 µm Durchmesser auf den Brückengerüsten wieder gut auffinden zu können, wurden Ritzungen zur Orientierung vorgenommen, in deren Ecken nach dem Meßmarkenplan (Abb. 7) die Meßmarken (Vickers-Eindrücke) gesetzt wurden.

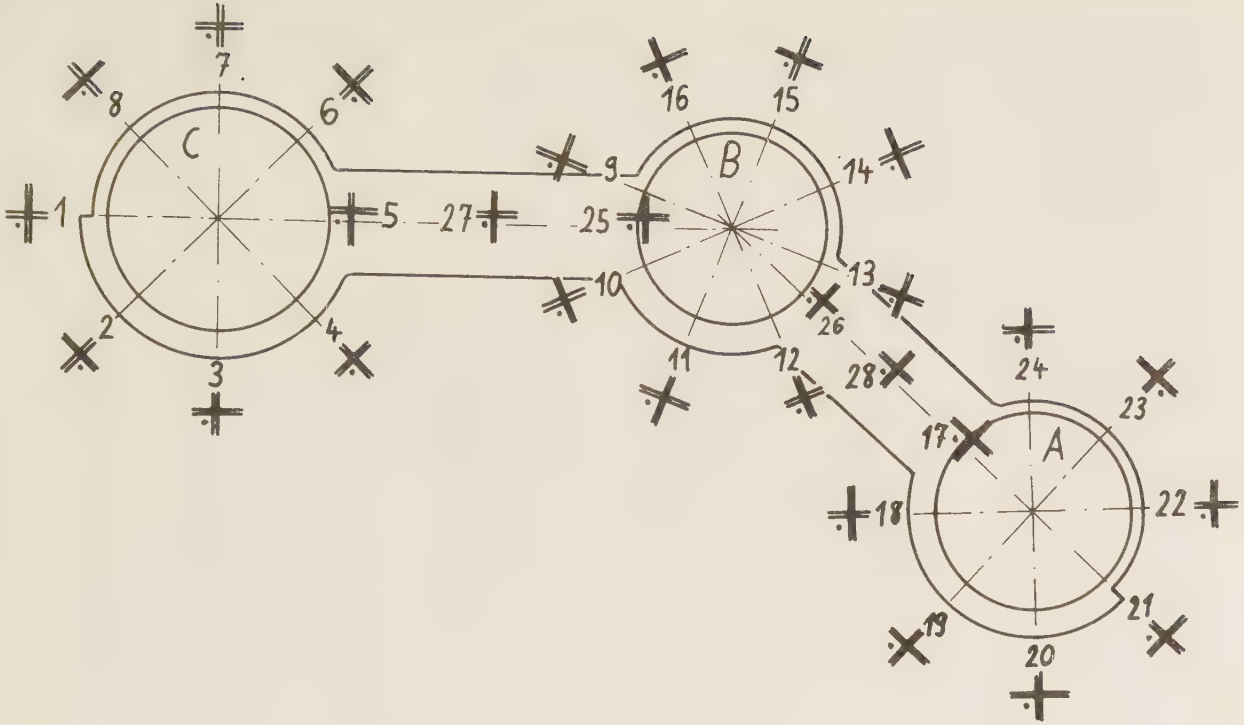


Abb. 7: Meßmarkenplan Brückengerüst Aufsicht Unterseite

3.4.4. Durchführung der Messung

Die zu vermessenden planen Unterseiten der Brückengerüste wurden mit Hilfe eines Parallelführungsgerätes (Firma Leitz) plan auf eine Glasplatte in Plastilin eingebettet (Abb. 8).

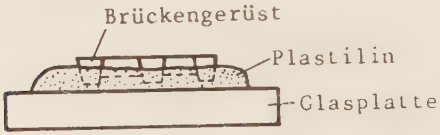


Abb. 8: In Plastilin eingebettetes Brückengerüst

Die Ausrichtung der Brücke erfolgte in einem Winkel von ca. 45° (Abb. 9).

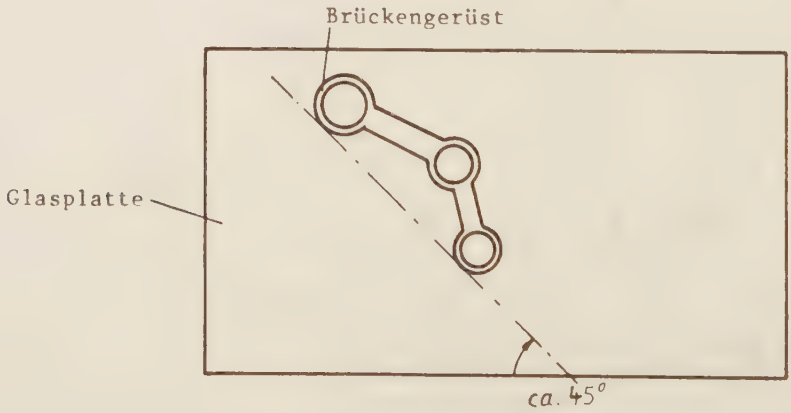


Abb. 9: Ausgerichtetes Brückengerüst

Die Meßpunkte des Brückengerüstes wurden in drei Teilsysteme absolut zueinander vermessen. Dies erforderte eine lange Zeit (ca. 35 Minuten für ein Teilsystem). Deshalb mußten bei der Messung absolut stationäre Bedingungen vorliegen. Die Einbettung des Brückengerüstes mußte deshalb vor der eigentlichen Messung ca. zwei Stunden erfolgt sein. Die Spannungen im Plastilin konnten sich in diesem Zeitraum abbauen. Es konnten damit unerwünschte Lageänderungen der Brücke im Plastilin während des Meßvorganges ausgeschlossen werden. Außerdem war die Beleuchtungseinheit im Mikroskop (Durimet - Firma Ernst Leitz GmbH, Wetzlar) zwei Stunden vorher einzuschalten. Die Wärmeentwicklung im Ständer durch die Beleuchtungseinheit führte innerhalb einer Stunde zu einer Lageänderung der Meßplatte im Okular relativ zum Meßtisch von ca. 10 µm, während danach keine wesentlichen Unterschiede festzustellen waren. Um stationäre Bedingungen zu erreichen, wurde das Meßmikroskop in einem gleichmäßig beheizten Raum von ca. 20°C aufgestellt und unter diesen Bedingungen die Messung durchgeführt. Durch diese Maßnahme konnte ein Temperatureinfluß auf die Messung weitgehendst ausgeschaltet werden. Die vermessenen Marken sind aus der Abb. 7 ersichtlich.

Jedes Teilsystem wurde in der Reihenfolge zweimal vermessen und aus den Meßergebnissen wurde gleich ein Mittelwert gebildet. Zudem konnten auf diese Weise Ablese- und Schreibfehler erkannt werden. Die Meßmarken wurden in x- und y-Richtung jeweils immer von der gleichen Richtung angefahren, damit das Spindelspiel des Meßtisches eliminiert wird, d. h. der Meßtisch und die Kraftübertragung liegen immer auf der gleichen Flankenseite der Meßspindel.

Die Gesamtmeßgenauigkeit ergibt sich aus den physikalisch-technischen Gegebenheiten des Meßmikroskopes und der Ablesegenauigkeit sowie der Einstellgenauigkeit der Meßmarke. Bei der vorliegenden Anordnung kann bei der Mehrzahl der Meßmarken von einer Meßgenauigkeit von $\pm$ 2 µm ausgegangen werden. Jedoch entstand trotz der unterdrückten Oxidation eine leichte Verzunderung der Oberfläche. Daher waren nicht alle Meßmarkenimpressionen ideal, so daß man bei einzelnen Meßmarken von einer schlechteren Meßgenauigkeit größer $\pm$ 2 µm auszugehen hat.

3.5. Rechengang für die Koordinatentransformation

Aus meßtechnischen Gründen mußte das Brückengerüst in drei Teilsysteme zerlegt werden. Jedes Teilsystem wurde in einem kartesischen xy-System absolut vermessen. Das Zusammensetzen der drei Teilsysteme zu einem Gesamtsystem geschah mittels der Koordinatentransformation, bestehend aus einer Verschiebung und einer Drehung zweier Geradengleichungen, die jeweils durch ihre zwei Fixpunkte bestimmt sind (Abb. 10).

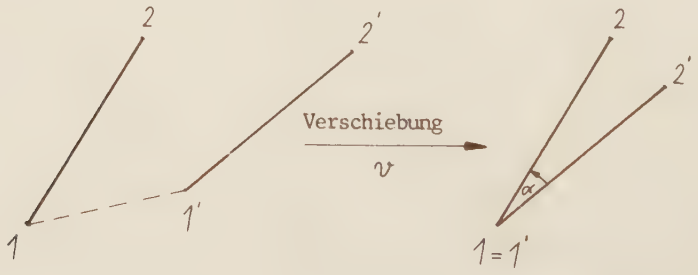


Abb. 10: Verschiebung v und Drehwinkel α

Die drei Teilsysteme sind durch die Fixpunkte (5,25) für Transformation TS1 nach TS2 und die Fixpunkte (26,17) für die Transformation TS3 nach TS2 festgelegt. Dies geschah zuerst für das Rohgerüst, danach wurden nacheinander Oxidbrand, Grundbrand und Dentinbrand in das Koordinatensystem des Rohgerüstes projiziert. Dazu wurde natürlich die gleiche Dreh- und Schiebelogik benutzt (wie bereits beschrieben).

Die nach BRONSTEIN und SEMENDJAJEW (1, 170) benutzte Formel lautet:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \underbrace{\begin{pmatrix} \cos\alpha & -\sin\alpha \\ \sin\alpha & \cos\alpha \end{pmatrix}}_{\text{Drehung}} \begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} + \underbrace{\begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \end{pmatrix}}_{\text{Verschiebung}}$$

Der Verschiebungsvektor v ergibt sich aus den Koordinatenpaaren des ersten Fixpunktes aus den Teilsystemen.

3.6. Statistik

Zur statistischen Auswertung der Meßwerte wurden Mittelwerte, Standardabweichungen und Signifikanztests verwendet. Die Berechnung der Statistik sowie die Darstellung der Ergebnisse wurden auf einer Großrechenanlage nach Einlesen der Daten über Lochkarten durchgeführt.

1. Mittelwert
   Nach CAVALLI-SFORZA (2) versteht man unter Mittelwert das arithmetische Mittel aus den einzelnen Werten der Stichprobe. Der Mittelwert ist ein "Schätzwert" für den "wahren Mittelwert" der Grundgesamtheit. Meist ist der wahre Wert nicht zugänglich, kann aber durch

den Mittelwert $\bar{x}$ einer Meßreihe mehr oder weniger gut approximiert werden:

$$(1) \qquad \bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{n} x_i$$

(n = Anzahl der Meßwerte)

2. Standardabweichung

Unter Standardabweichung versteht man nach CAVALLI-SFORZA (2) den mittleren Fehler der Einzelmessung, d. h. den Bereich beiderseits des Mittelwertes, in den 68,26 % aller Meßwerte fallen. Die Standardabweichung dient zur Beurteilung der Genauigkeit dieser Messungen:

$$(2) \qquad s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (\bar{x} - x_i)^2}{n - 1}}$$

3. Signifikanztest

Für die Änderungen bei den verschiedenen Bränden wurde der t-Test nach KAISER und GOTTSCHALK (8, 25-27) verwendet. Beim t-Test wird objektiv beurteilt, ob sich zwei Mittelwerte $\bar{x}_A$ und $\bar{x}_B$ real unterscheiden:

$$(3) \qquad \tau = \left| \frac{\bar{x}_A - \bar{x}_B}{s_d} \right| \cdot \frac{n_A \cdot n_B}{n_A + n_B}$$

wobei:

$$s_d = \sqrt{\frac{(n_A - 1) \cdot s_A^2 + (n_B - 1) \cdot s_B^2}{n_A + n_B - 2}}$$

Für die Änderungen der Brückengerüste beim Dentinbrand mit 0,5 mm und 2 mm Schichtdicke wird der Differenzen-t-Test von KAISER und GOTTSCHALK (8, 37-39) zur objektiven Beurteilung von Mittelwerten aus zusammengehörigen Datenpaaren verwendet:

$$(4) \qquad TAU = \left| \frac{\bar{x}_A - \bar{x}_B}{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^{n} (\Delta x_i - \Delta\bar{x})^2} \right| \cdot \sqrt{n}$$

wobei:

$\bar{x}_A$ = Mittelwert Änderung bei 0,5 mm Schichtdicke

$\bar{x}_B$ = Mittelwert Änderung bei 2 mm Schichtdicke

Vergleich von TAU mit t(95) und t(99) für t = n-1 = 4 aus Tabelle für t-Test von KAISER und GOTTSCHALK (8, 48) folgt

t = 4 t(95) = 2,78
t(99) = 4,60

d. h. wenn TAU kleiner t(95) ist. Ein Unterschied zwischen $\bar{x}_A$ und $\bar{x}_B$ ist nicht feststellbar bzw. es ist keine Signifikanz vorhanden.

IV. ERGEBNISSE

In zwei Versuchsreihen zu je fünf Brücken wurden die Dimensionsänderungen der Brückengerüste in Abhängigkeit der Brände und der Verblendungsstärke ca. 0,5 mm und ca. 2 mm untersucht. Ein Brückengerüst durchlief alle Brennvorgänge als Kontrollbrücke unverblendet mit. Die Brückengerüste wurden nach dem Meßstellenschema (Abb. 7) und durch Trennung der Brücken in drei Teilsysteme (Abb. 4) im rechtwinkligen kartesischen xy-System vermessen. Die Computer-Auswertungen sind in den Tab. 5 bis 7 (siehe Anhang) ausgedruckt. Um einen besseren Überblick über die Veränderungen der Abstände der Meßpunkte zu erhalten, wurden Schaubilder gezeichnet und diese in der Abb. 11 zusammengefaßt. Vergleiche von entsprechend liegenden Abständen ergeben Übereinstimmung der Veränderungen bei den einzelnen Bränden. Man vergleiche hierzu die Meßstellen in Abb. 11:

(1,5) mit (17,21)
(3,7) mit (19,23)
(2,6) mit (20,24)
(4,8) mit (18,22)
(12,16) mit (10,14)

Die Unterschiede der Änderungen beim Dentinbrand mit 0,5 mm und 2 mm Schichtdicke sind - wie aus Tab. 9 ersichtlich - vergleichsweise gering und nicht signifikant verschieden (Signifikanztest, Formel 4).

Die Dimensionsänderungen werden hauptsächlich durch den Oxidbrand hervorgerufen. Hier werden die Spannungen frei, die beim Gießen des Brückengerüstes entstanden sind.

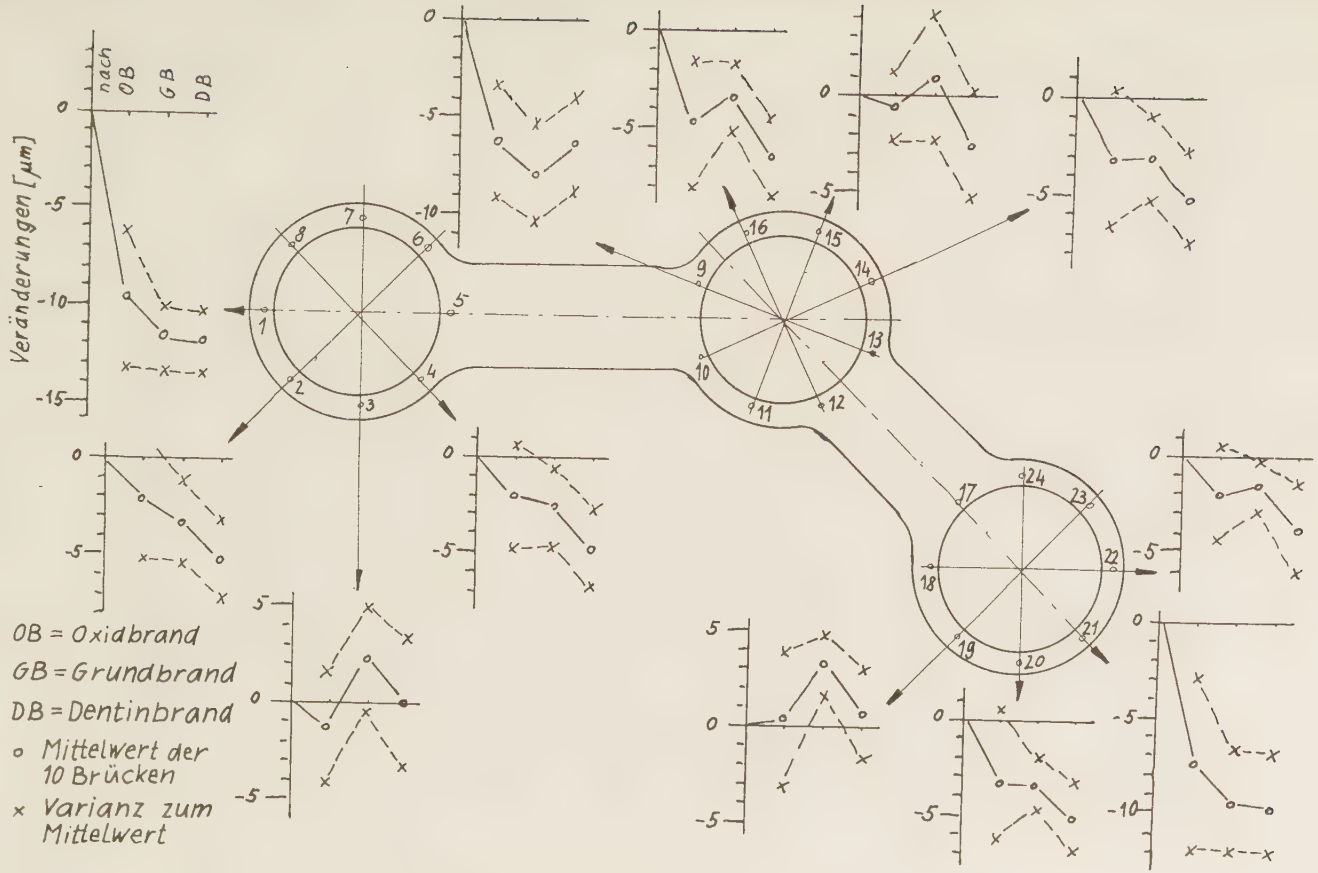


Abb. 11: Veränderung der Mittelwerte von 10 Brücken

Meßstelle	$\bar{x}_{2\ mm}$	$\bar{x}_{0,5\ mm}$	$\bar{x}_{alle}$	Signifikanztest Formel 4
3,7	-1,734	-2,676	-2,21	nicht
1,5	-0,302	-0,02	-0,16	"
2,6	-1,916	-2,12	-2,02	"
4,8	-1,288	-2,772	-2,03	"
11,15	-2,924	-4,198	-3,56	"
9,13	-2,636	0,722	1,68	"
10,14	-2,712	-1,422	-2,07	"
12,16	-3,536	-2,714	-3,12	"
17,21	-0,266	0,386	0,06	"
19,23	-1,728	-3,496	-2,61	"
18,22	-0,396	-2,91	-1,65	"
20,24	-2,176	-0,838	-1,51	"
5,17	-4,598	-3,724	-4,16	"
25,26	1,076	0,082	0,58	"

wobei:

$\bar{x}_{2\ mm}$ = Mittelwert Änderung aller 5 Brücken mit 2 mm Schichtdicke

$\bar{x}_{0,5\ mm}$ = Mittelwert Änderung aller 5 Brücken mit 0,5 mm Schichtdicke

$\bar{x}_{alle}$ = Mittelwert Änderung aller Brücken mit 2 mm und 0,5 mm Schichtdicke

Tab. 8: Veränderungen Dentinbrand mit 2 mm und 0,5 mm Schichtdicke

Durch den Oxidbrand kommt es zu einer Innenlumenverkleinerung der Pfeilerkronen und zu einer Verkleinerung der Meßstrecke 5,17, d. h. zu einer Verkleinerung des Schenkelwinkels sowie zu einer stärkeren Verringerung der Innenlumen in mesio-distaler Richtung als in bukko-lingualer Richtung. Der Grund- sowie auch der Dentinbrand spielen bei der verwendeten Legierung "Simidur" und bei der benutzten Brandführung eine untergeordnete Rolle. Die Innenlumina verändern sich beim Grund- und Dentinbrand maximal um 4 µm, wobei die Meßgenauigkeit bei ± 2 µm anzusehen ist.

Die Kontrollbrücke, die alle Brände durchlaufen hat, unterscheidet sich in der Gesamtveränderung von den verblendeten Brücken $\bar{x}_{gesamt}$ nur unwesentlich, wie dies die Tab. 9 bei der Gegenüberstellung von Mittelwert-Gesamtveränderung aller verblendeten Brücken zu der Veränderung der Kontrollbrücke verdeutlicht. Der Unterschied bei den meisten Werten ist nicht größer als 2-3 µm oder betragsmäßig im Mittel $\Delta \bar{x}$ = 1,77 µm.

Bei der bisherigen Auswertung wurden nur relative Dimensionsänderungen betrachtet. Interessant ist daher die Betrachtung, welche Deformation zu einem festen Bezugssystem das Gerüst erfährt. Deshalb wird die Strecke 5,25 und die Strecke 26,17 auf den massiven Zwischengliedern als konstante Strecke ohne Deformation angenommen und alle Änderungen in dem rechtwinkligen kartesischen xy-System als Δ x- und Δ y-Werte errechnet. Die Mittelwerte der absoluten Änderungen in Δ x- und Δ y-Richtung in Abhängigkeit der Brände sind in Tab. 10 zusammengefaßt. Die Auswertung dieser Werte wird in den Abb. 12-16 dargestellt. Die Ausgangswerte liegen jeweils dabei idealisiert auf einem Kreis.

Strecke	Mittelwert Veränderung aller verblendeten Brücken $\Delta \bar{x}_{gesamt}$	Veränderung Kontrollbrücke $\Delta x_{unverbl.}$	Differenz $\Delta x = \Delta \bar{x}_{ges.} - \Delta x_{unverbl.}$
3,7	0	- 2,08	+2,08
1,5	-11,83	-10,83	-1,00
2,6	- 5,39	- 2,54	-2,85
4,8	- 4,51	- 4,05	-0,46
11,15	- 2,65	- 5,11	+2,46
9,13	- 6,29	- 5,06	-1,23
10,14	- 5,20	- 6,45	+1,25
12,15	- 6,58	- 0,73	-5,85
17,21	- 9,37	-15,28	+5,91
19,23	+ 0,59	- 0,39	+0,98
18,22	- 2,93	- 0,70	-2,23
20,24	- 4,89	- 4,69	-0,20
5,17	-12,60	-10,62	-2,04
25,26	- 7,51	- 8,46	+0,95

Tab. 9: Werte Gesamtveränderung aller verblendeten Brücken zur Kontrollbrücke

	O - R		G - O		G - R		D - G		D - R	
	Δx	Δy	Δx	Δy	Δx	Δy	Δx	Δy	Δx	Δy
1	-10,9	0,4	-3,8	3,1	-14,7	3,5	4,0	-9,1	-10,7	-6,6
2	- 7,9	1,6	-2,0	3,0	- 9,9	4,6	0,1	-8,8	- 9,8	-4,2
3	- 4,1	-0,4	1,2	3,3	- 2,9	2,9	-2,9	-8,0	- 5,8	-5,1
4	- 2,4	-3,1	0,4	1,9	- 2,0	-1,2	-1,3	-2,7	- 3,3	-3,9
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	- 6,4	-0,5	-1,7	0,3	- 8,1	-0,2	4,7	-0,6	- 3,4	-0,8
7	- 9,8	-5,1	-4,7	4,0	-14,5	-1,1	7,9	-5,7	- 6,6	-6,8
8	-10,4	-2,0	-5,2	3,5	-15,6	1,5	7,4	-7,4	- 8,2	-5,9
25	0,3	0,2	-0,3	0,1	0	0,1	0,5	0,2	0,5	0,3
10	2,1	0,1	-0,3	0,1	1,8	0,2	0,8	1,1	2,6	1,3
11	6,7	-1,1	-0,7	2,0	6,0	-0,9	3,0	-0,6	9,0	-1,5
12	7,2	4,8	-1,5	2,3	5,7	7,1	4,6	-1,7	10,3	5,4
26	6,6	4,8	-1,8	3,5	4,8	8,3	4,5	-4,4	9,3	3,9
13	6,6	3,6	-1,0	4,3	5,6	7,9	3,2	-6,9	8,8	1,0
14	2,0	-0,1	-0,1	5,6	1,9	5,5	2,4	-7,9	4,3	-2,4
15	6,6	1,9	0,6	5,2	6,0	7,1	0,6	-7,7	6,6	-0,6
16	2,0	-0,1	1,8	3,5	3,8	3,4	-1,5	-4,6	2,3	-1,2
9	-0,2	-0,3	0,1	0,6	-0,1	0,3	-0,6	0	-0,7	0,3
17	0,3	-0,4	1,1	0,5	1,4	0,1	0,3	1,6	1,7	1,7
18	1,1	0,8	1,7	0,5	2,8	0,5	0,1	2,2	2,9	2,7
19	-0,4	2,8	-0,2	-0,3	-0.6	2,5	3,6	2,3	3,0	4,8
20	-3,o	4,7	0,1	1,2	-2,9	5,9	3,7	2,3	0,8	8,2
21	-2,9	9,1	0	3,0	-2,9	12,1	4,4	-0,3	1,5	11,8
22	-0,5	10,5	-0,8	3,5	-1,3	14,0	4,5	-2,5	3,2	11,5
23	2,5	9,0	-1,9	3,4	0,6	12,4	3,8	-3,4	4,4	9,0
24	0,4	4,5	0	1,2	0,4	5,7	0,8	-0,6	1,2	5,1

wobei: R = Rohgerüst
O = Oxidbrand
G = Grundbrand
D = Dentinbrand

Tab. 10: Mittelwerte der absoluten Änderungen in Δx- und Δy-Richtung in Abhängigkeit der Brände

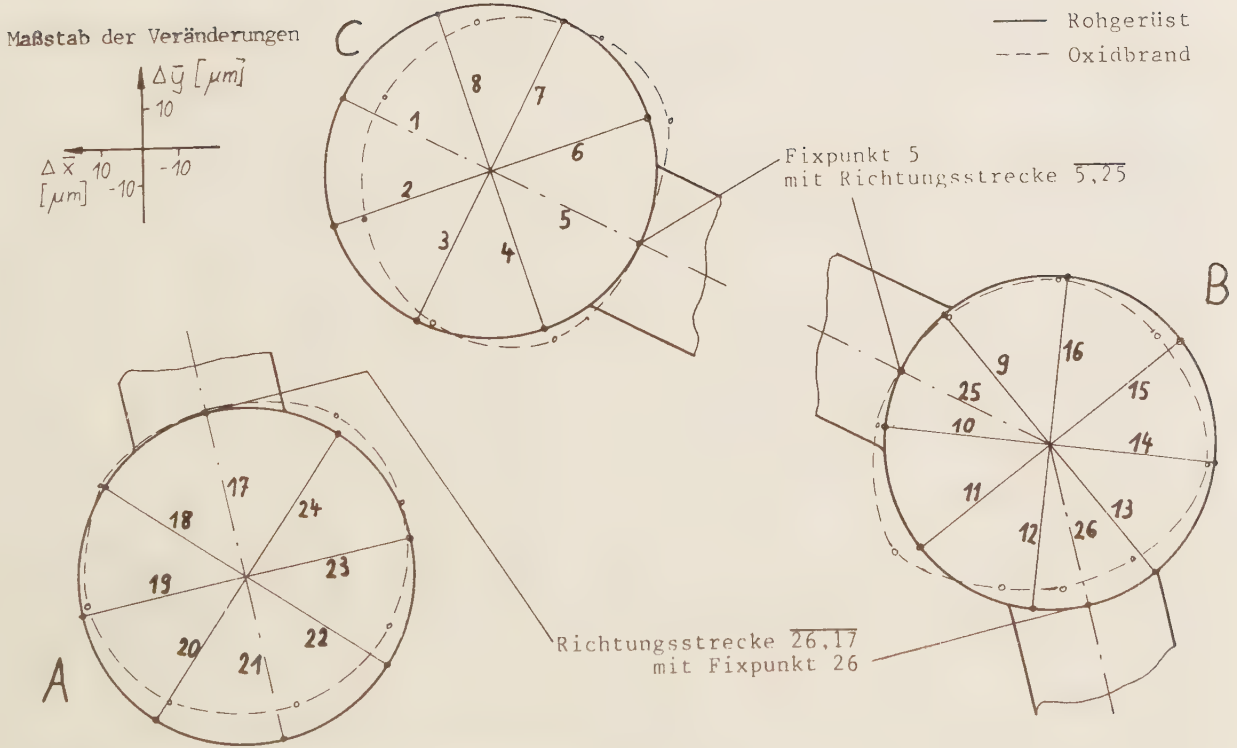


Abb. 12: Veränderungen beim Oxidbrand (O-R)

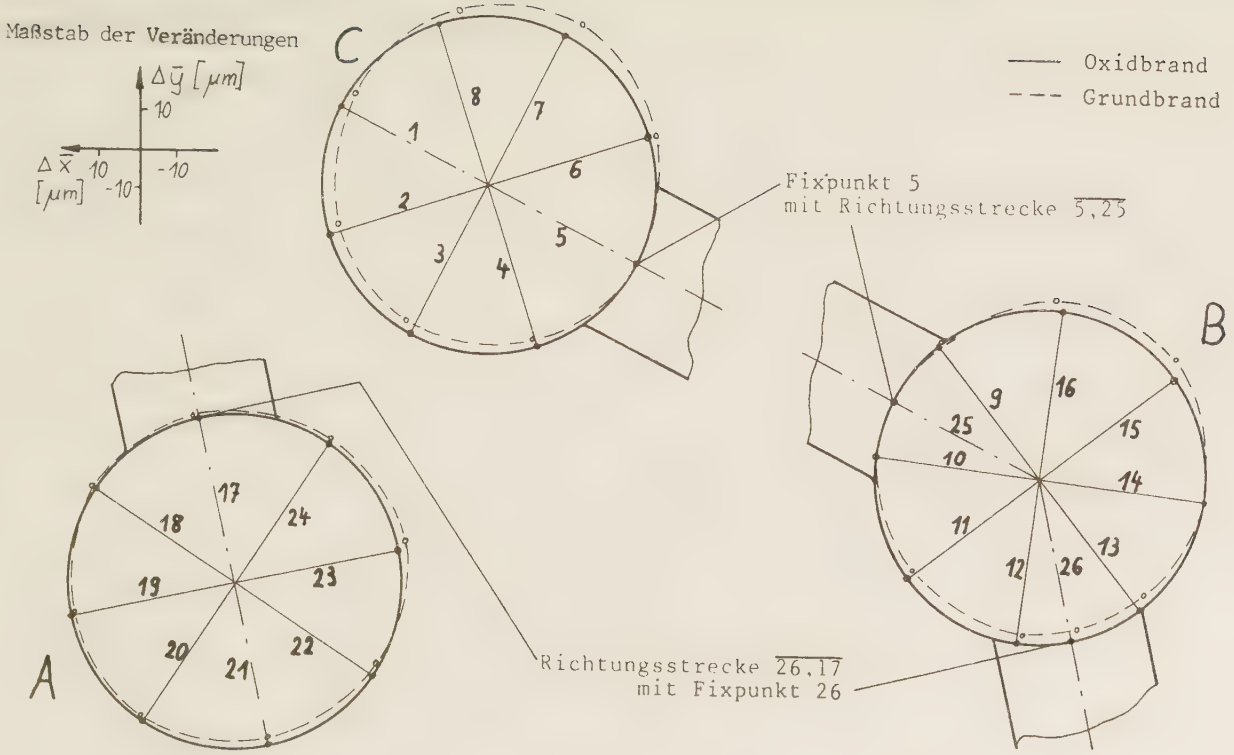


Abb. 13: Veränderungen beim Grundbrand (G-O)

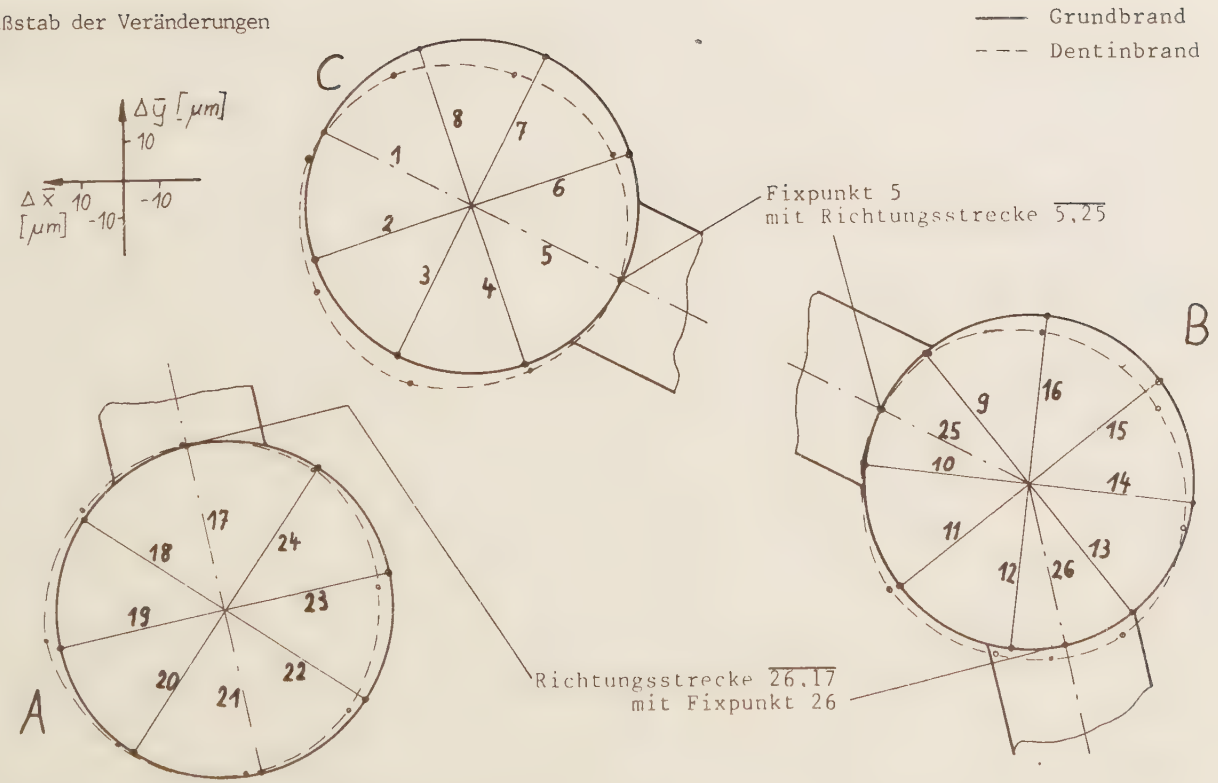


Abb. 14: Veränderungen beim Dentinbrand (D-G)

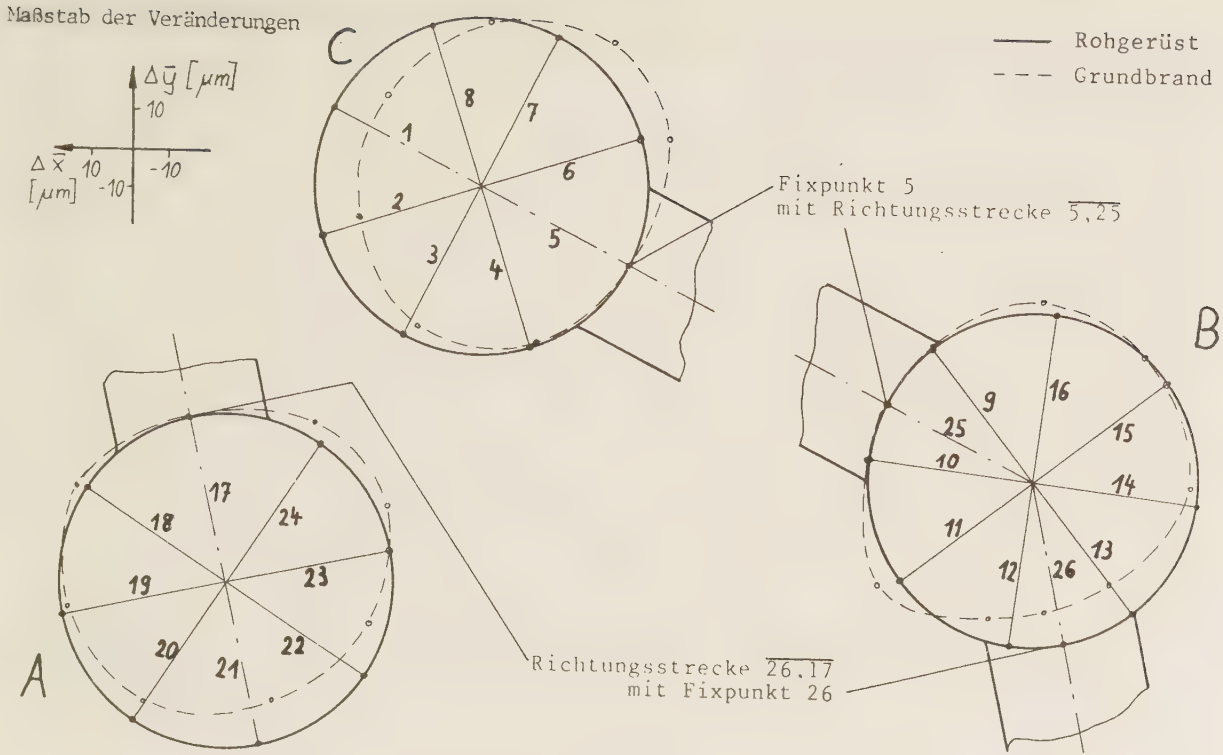


Abb. 15: Veränderungen durch Oxidbrand und Grundbrand (G-R)

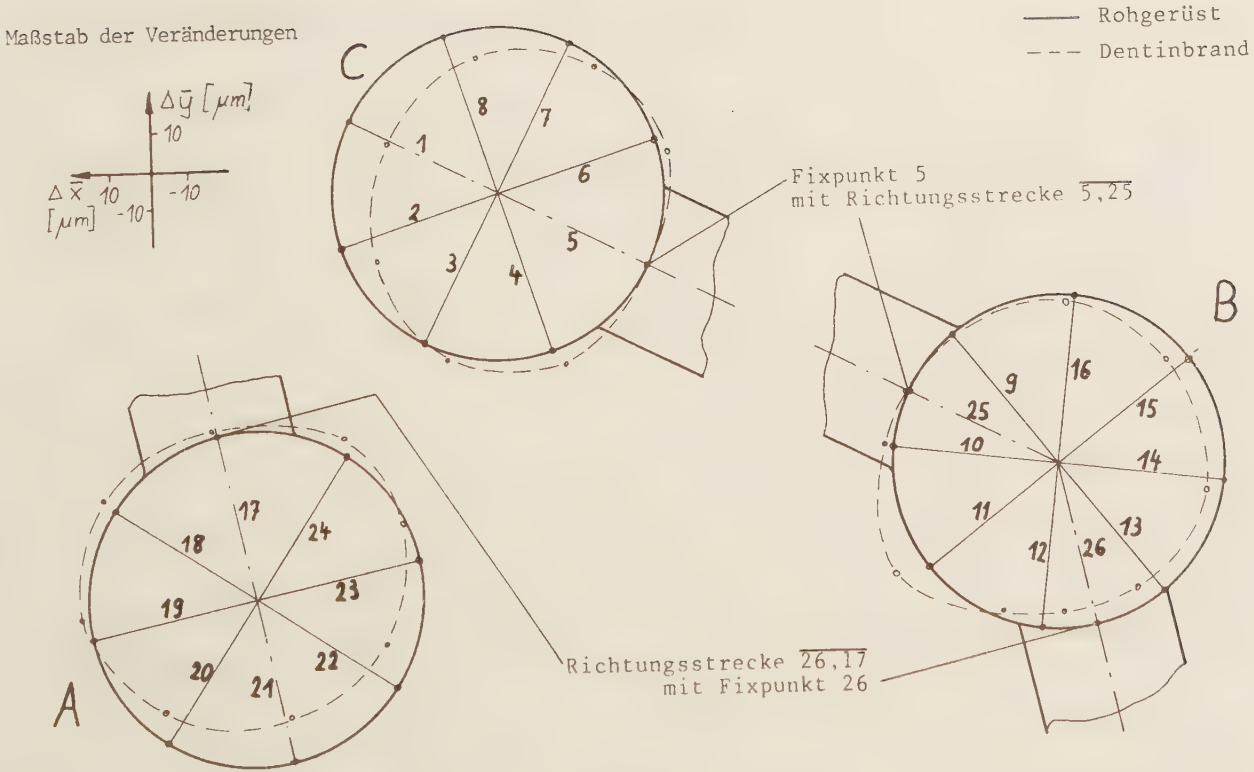


Abb. 16: Gesamtveränderung (D-R)

Abweichungen bei den darauffolgenden Bränden vom Ausgangszustand werden nun vergrößert eingezeichnet. Hierdurch entsteht ein stark verzerrter und deformierter Kreis, bedingt durch die große Maßstabsvergrößerung von ca. 1 000 : 1; jedoch läßt sich so ein räumlicher Überblick der Richtung der Deformation und der Schwankungen zwischen den einzelnen Arbeitsgängen verschaffen. Zudem spielt die Wahl des Fixpunktes, auf den alle darauffolgenden Brände des Brückengerüstes zum Vergleich projiziert werden, bei der Betrachtung eine Rolle. Für die Außenpfeilerkrone C ist Punkt 5 der Fixpunkt mit der Richtungsstrecke 5,25 und für die Außenpfeilerkrone A ist Punkt 26 der Fixpunkt mit der Richtungsstrecke 26,17. Bei der mittleren Pfeilerkrone B ist Punkt 5 als Fixpunkt mit der Richtungsstrecke 5,25 gewählt worden, d. h. Änderungen werden hauptsächlich auf der gegenüberliegenden Seite sich auswirken, während bei der Wahl Punkt 26 als Fixpunkt auf dem anderen Zwischenglied ein spiegelbildliches Bild sich ergeben hätte. Wie schon bei der Auswertung der relativen Dimensionsänderungen festgestellt, wird die Hauptdimensionsänderung durch den Oxidbrand verursacht. Die Meßpunkte bei den vergleichbaren Außenankern A und C wandern in Richtung Zwischenglied, d. h. zur Masse hin, so daß das Bild eines Ovals entsteht. Dieses Oval erfährt dann über den Grundbrand nochmals eine leichte Deformation und Rotation zur verblendeten Seite, während beim Dentinbrand die Rotation entgegengesetzt zur verblendeten Seite verläuft und dominierender ist als der Grundbrand. Auch beim mittleren Anker B führt der Oxidbrand zu einer Deformation im Gerüst und bewirkt eine Annäherung der massiven Zwischenglieder, d. h. zu einer Verkürzung der Strecke 9,13 im Mittel um 6,26 µm. Beim Grundbrand sind nur geringe Änderungen festzustellen, beim Dentinbrand findet eine geringe

Aufweitung in mesio-distaler Richtung der Strecke 9,13 statt und rechtwinklig dazu in bukko-lingualer Richtung der Strecke 11,15 findet eine Verkleinerung des Innenlumens statt.

Die Meßstrecken 5,25 und 26,17 auf den massiven Zwischengliedern ändern sich in Abhängigkeit der Brände nicht.

V. DISKUSSION

Die Untersuchung über die Dimensionsänderung an mehrgliedrigen, über eine mittlere Pfeilerkrone abgewinkelte Brücke durch den Aufbrennprozeß keramischer Massen in Abhängigkeit der Schichtdicke konnte nachweisen, daß kein signifikanter Unterschied der Brücken mit 2 mm Schichtdicke zu den Brücken mit 0,5 mm Schichtdicke besteht. Dies ist insbesondere auf die überlegene Wärmefestigkeit der verwendeten Aufbrennlegierung "Simidur" zurückzuführen. Wie bereits GUNDLACH (4, 95-96) festgestellt hat, ergibt eine höhere Wärmefestigkeit der Legierung eine bessere Dimensionsstabilität der Gerüste beim Brand. Bei einer Brenntemperatur der Keramik von ca. 1 000°C nehmen die Dehngrenze und das Elastizitätsmodul ab. Sie betragen dann bei Edelmetallen ungefähr noch ein Zehntel, bei Nichtedelmetallegierungen jedoch noch ungefähr ein Drittel der Werte bei Raumtemperatur. Der zweite Grund für nur geringe Änderungen am Brückengerüst lag in der im Versuch angewandten Brandführung. Um eine reduzierende Gasatmosphäre im Brennofen zu erhalten, wurde das Brückengerüst durch Abschalten der Heizung im Ofen ungefähr zwei Stunden abgekühlt; dies entsprach einer verzögerten Abkühlung. DORSCH (4, 107-118) führte den Nachweis, daß bei einer verzögerten Abkühlung sowie bei steigender Anzahl von Brennprozessen es zu einer Angleichung der Wärmeausdehnungskoeffizienten von Metall und Keramik kommt, wobei der Wärmeausdehnungskoeffizient des Metalles als konstant anzusehen ist. Die Differenz der Wärmeausdehnungskoeffizienten Metall/Keramik $\Delta\alpha = \alpha_{\text{Metall}} - \alpha_{\text{Keramik}}$ wird kleiner und verursacht hierdurch geringere Formänderungen. Zudem kann durch die langsame Abkühlung bei der gewählten Brandführung die Dental-

keramik oberhalb des Transformationsbereiches bei etwa 550°C durch plastisches Fließen den Formänderungen des Metallgerüstes folgen.

Die Hauptdimensionsänderungen werden durch den Oxidbrand verursacht, da hier die beim Gießen des Brückengerüstes entstandenen Spannungen frei werden. Alle Änderungen der unverblendeten Kontrollbrücke vom Oxidbrand über Grundbrand zum Dentinbrand ändern sich nur im Mittel Betrag $|\bar{\Delta x}| = 1{,}77$ µm. Es ist anzunehmen, daß die spezielle Brandführung der langsamen Abkühlung eine fast völlige Entspannung des Gusses bringt und nur geringe Restspannungen nach dem Oxidbrand im Brückengerüst noch vorhanden sind; denn eine Überlagerung dieser Restspannungen beim Brückengerüst mit den Änderungen beim Grundbrand könnte keinen signifikanten Unterschied Oxidbrand zu Grundbrand oder ähnliche Schaubilder wie in Abb. 11 bei vergleichbaren Meßpaaren (man vergleiche zum Beispiel 1,5 mit 17,21) auf dem Brückengerüst ergeben. Die Änderungen der Mittelwerte aller Meßwerte beim Grundbrand nach Tab. 7 ändern sich im Mittel nur um den Betrag $|\overline{\Delta \bar{x}}|_{\text{aller Meßwerte}} = 1{,}36$ µm.

Die Werte beim Dentinbrand zum Grundbrand sind ebenfalls signifikant verschieden und vergleichbare Meßpaare in der Abb. 11 haben ähnliches Verhalten. Es kommt bei allen Änderungen außer bei der Strecke 9,13 der mittleren Pfeilerkrone zu einer Verkleinerung der Innenlumina der Pfeilerkronen und zu einer Verkürzung der Meßstrecke a = $\overline{5{,}17}$ im Mittel um -4,16 µm, d. h. zu einer Verkleinerung des Schenkelwinkels. Die Änderungen des Lumens sind auf den unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten zwischen Metall und keramischer Masse, d. h. auf die Spannungsdruckverteilung, zurückzuführen. Jedoch kommt es nicht - wie bei der Untersuchung von FREESMEYER (6) - in bukkolingualer Richtung zu einer Vergrößerung,

sondern durch die größere Stabilität und das höhere Elastizitätsmodul und wegen der geringeren Druckspannungen in der Keramik nur zu einer Dehnungsänderung hauptsächlich im elastischen Bereich der Legierung, d. h. zu einer geringen allgemeinen Verkleinerung der Innenlumina der Pfeilerkronen A und C. Die Betrachtung der Deformationen zu einem festen Bezugssystem,was eine Vermessung der Brückengerüste in einem Koordinatensystem erforderte, kann in den Abb. 12 bis 16 besser erkannt werden.

Beim Oxidbrand verschieben sich die Meßpunkte an den beiden Außenankern A und C in Richtung der Zwischenglieder zur Masse hin. Eine Rotation der Außenanker ist nicht festzustellen. Am mittleren Pfeileranker B ist ebenfalls eine Annäherung der Meßpunkte zur Masse der Zwischenglieder vorhanden, jedoch erfährt der Meßpunkt 11 auf der unverblendeten Innenseite eine Ausbeulung, so daß im Mittel nur eine Lumenverkleinerung der Meßstrecke 11,15 von -0,6 µm herauskommt, aber durch diesen Ausbeulungseffekt verkürzt sich die Meßstrecke 5,17 im Mittel um -8,39 µm.

Beim Grundbrand erfahren die beiden Außenanker A und C durch die Grundmasse eine geringe Rotation zur verblendeten Seite, d. h. die Grundmasse übt Zugkräfte auf das Metallgerüst aus. Die mittlere Pfeilerkrone verändert sich nur unwesentlich, wie auch rechnerisch die Meßstrecke 5,17 sich nur im Mittel um -0,05 µm ändert.

Beim Dentinbrand gerät die Keramik durch den geringeren Kontraktionskoeffizienten der Keramik zum Metallgerüst bei der Abkühlung von der Brenntemperatur unter Druckspannung. Die Keramik möchte sich ausdehnen, also größer werden, und durch die Abstützung der Keramik auf dem massiven Zwischenglied kommt es an den Pfeilerkronen A

und C zu einer geringen Rotation des Brückenankers zur unverblendeten Seite, wie dies in Abb. 14 erkennbar ist. An der mittleren Pfeilerkrone B ist durch die zweiseitige Einspannung der massiven Zwischenglieder eine Rotation nicht mehr möglich, so daß die Druckspannungen in der Keramik zu einer Deformation des Metallgerüstes führen. Dabei kommt es zu einer Aufweitung des Innenlumens in mesio-distaler Richtung der Strecke 9,13 im Mittel um +1,68 µm und zu einer Verkleinerung in bukko-lingualer Richtung der Strecke 11,15 im Mittel um -3,56 µm. Wie in Abb. 14 erkennbar, führt die Deformation auf der unverblendeten Seite zu einer Ausbeulung im Brückengerüst und verkleinert damit auch den Schenkelwinkel, d. h. die Meßstrecke 5,17 verkleinert sich im Mittel um -4,16 µm.

Eine Überlagerung der Änderungen von Grund- und Dentinbrand zeigt, daß die Änderungen entgegengesetzt sind und dadurch die Änderungen des Dentinbrands abgeschwächt werden. Daraus erkennt man, daß der Dentinbrand dominanter ist als der Grundbrand.

Die Gesamtdeformation ist in Abb. 16 dargestellt. Sie setzt sich - wie schon beschrieben - aus den einzelnen Deformationen Δ Oxidbrand + Δ Grundbrand + Δ Dentinbrand zusammen. Wie bereits dort erwähnt, wandern die Meßpunkte bei den beiden Außenankern A und C zum massiven Zwischenglied und rotieren gering in Richtung zur unverblendeten Seite. Hingegen verkleinert sich beim mittleren Pfeileranker B das Innenlumen hauptsächlich in mesio-distaler Richtung, während das Brückengerüst auf der unverblendeten Seite ausgebeult wird.

VI. ZUSAMMENFASSUNG

Die durchgeführte Untersuchung über Dimensionsänderungen von Brückengerüsten durch den Aufbrennprozeß keramischer Massen in Abhängigkeit der Schichtdicke konnte nachweisen, daß bei der gewählten Versuchsdurchführung kein signifikanter Unterschied auf die Dimensionsänderung bei Variation der Schichtdicke besteht. Der Grund dafür liegt an der höheren Wärmefestigkeit, am höheren Elastizitätsmodul der verwendeten Spargoldlegierung "Simidur" und an der im Versuch benutzten Brandführung. Die angewandte Abkühlung entsprach einer verzögerten Abkühlung. Diese Beobachtung entspricht auch den Ergebnissen von DORSCH (4), die bestätigten, daß der Ausdehnungskoeffizient der Keramikmasse bei verzögerter Abkühlung an den Ausdehnungskoeffizienten der Legierung angeglichen wird. Die Differenz der Wärmeausdehnungskoeffizienten Metall/Keramik $\Delta\alpha = \alpha_M - \alpha_K$ wird kleiner und verursacht dadurch geringere Formveränderungen. Zudem folgt die Dentalkeramik oberhalb des beginnenden Transformationsbereiches bei etwa 550°C den Formänderungen des Metallsubstrates durch plastisches Fließen. Dies ist auch durch die langsame Abkühlung der Brandführung gegeben.

Wie bei der Untersuchung von FREESMEYER (6) werden bei der hier vorliegenden Untersuchung die Dimensionsänderungen hauptsächlich durch den Oxidbrand hervorgerufen. Bei diesem Brand werden die Spannungen frei, die beim Gießvorgang des Brückengerüstes eingefroren wurden. Die Gründe für die sehr geringen Dimensionsänderungen der verwendeten Spargoldlegierung "Simidur" liegen beim Grund- und Dentinbrand insbesondere an der höheren Wärmefestigkeit, die die bekannte Dimensionsstabilität der

Gerüste beim Brand verursacht und an der gewählten Brandführung (langsame Abkühlung). Die Gesamtdimensionsänderungen an Brückengerüsten aus der Spargoldlegierung "Simidur" betragen ungefähr ein Fünftel der von FREESMEYER (6) festgestellten Änderungen an Brückengerüsten aus der Edelmetallegierung "Degudent U".

VII. LITERATURVERZEICHNIS

1. Bronstein, I.N., Semendjajew, K. A. (1967)
Taschenbuch der Mathematik, 170
7. Aufl., Harri Deutsch, Zürich und Frankfurt

2. Cavalli-Sforza, L. (1974)
Biometrie - Grundzüge biologisch-medizinischer Statistik, 4. Aufl., G. Fischer Verlag, Stuttgart

3. Eichner, K. (1972)
Metallkeramik in der zahnärztlichen Prothetik, 28
Hanser, München

4. Forschungsinstitut für zahnärztliche Versorgung (FZV) (1983), Band I
Medizinische und technologische Aspekte dentaler Alternativlegierungen
Quintessenz Verlags-GmbH, Berlin, Chicago, London, Rio de Janeiro und Tokio

5. Freesmeyer, W.B., Hambrok, H.J., Körber, E. (1979)
Dimensionsänderungen an verblendeten Kronen
Dtsch. zahnärztl. Z. 34, 190-192

6. Freesmeyer, W.B. (1980)
Dimensionsänderungen bei Metallkeramikbrücken durch den Aufbrennprozeß
Dtsch. zahnärztl. Z. 35, 532-536

7. Freesmeyer, W.B., Lindemann, W. (1981)
Biegefestigkeit eines Edelmetall-Keramik-Verbundes in Abhängigkeit von der Vorbehandlung des Metallgerüstes
Dtsch. zahnärztl. Z. 36, 791-796

8. Kaiser, R., Gottschalk, G. (1972)
Elementare Tests zur Beurteilung von Meßdaten
Bibliographisches Institut Mannheim/Wien/Zürich

9. Knosp, H. (1978)
Zur Gaslöslichkeit von Legierungen im Hinblick auf die Metallkeramik
Quintess. zahnärztl. Lit., Ref. Nr. 402, 47-54

10. McLean, J.W. (1978)
Wissenschaft und Kunst der Dentalkeramik
Quintessenz-Verlag, Berlin

11. Meiners, H. (1978)
Werkstoffkundliche Grundlage der Metallkeramik (I)
Quintess. zahnärztl. Lit., Ref. Nr. 380, 59-64

12. Meiners, H. (1978)
Werkstoffkundliche Grundlagen der Metallkeramik (II)
Quintess. zahnärztl. Lit., Ref. Nr. 380, 51-55

13. Schwickerath, H. (1977)
Werkstoffe in der Zahnheilkunde
Quintessenz, Berlin, Chicago, Rio de Janeiro, Tokio

14. Schwickerath, H. (1979)
Über die Paßgenauigkeit von aufbrennkeramischen Kronen
Quintess. zahnärztl. Lit., Ref. Nr. 387, 27-33

15. Schwickerath, H. (1981)
Die Verformung von Brücken-Gerüsten für die Metallkeramik beim Oxidglühen
ZWR, 7/1981, 26-28

A N H A N G

I Tab. 5: Computerausdruck
Vergleich der Änderungen aller Brücken

II Tab. 6: Computerausdruck
Auswertung Änderung aller Brücken

III Tab. 7: Computerausdruck
Auswertung Änderungen aller Brücken

OXYDBRAND:

PUNKTE	40	41	45	48	71	50	51	52	53	54	88
(3, 7):	-1.80	2.50	0.21	-3.17	-2.60	-0.64	2.33	0.75	-4.76	-5.72	-1.17
(1, 5):	-2.70	-11.58	-7.94	-10.38	-7.59	-9.38	-7.64	-12.79	-9.09	-16.88	-10.33
(2, 6):	0.60	-0.75	-5.41	-1.36	-1.18	2.51	1.58	-3.31	-3.25	-4.28	-2.27
(4, 8):	1.38	1.80	-3.59	-2.53	-1.95	-0.25	-0.49	-2.46	-6.12	-5.66	-2.35
(11,15):	-0.32	-0.84	0.57	-1.55	-0.16	-1.83	2.26	-0.54	0.18	-4.02	-4.30
(9,13):	0.84	-5.15	-3.93	-8.97	-5.99	-6.44	-7.66	-8.71	-8.04	-7.52	-3.75
(10,14):	0.85	-4.96	-2.55	1.56	-5.70	-3.01	0.74	-3.64	-8.46	-6.72	-3.87
(12,16):	-2.46	-3.28	-2.54	-12.55	-0.18	-1.95	-4.60	-4.54	-7.32	-2.74	-1.59
(17,21):	1.38	-10.08	-5.52	-9.41	-4.87	-16.33	-8.19	-7.88	-5.02	-6.83	-12.14
(19,23):	-3.83	4.43	2.35	3.67	-4.61	-1.13	2.64	2.67	1.24	-4.72	0.82
(18,22):	0.96	-0.47	-1.61	2.40	-4.23	-5.68	-3.56	-4.03	-0.79	-2.64	-5.56
(20,24):	-1.91	-4.04	-0.66	-10.23	-1.98	-1.96	-1.54	-2.85	-5.54	-3.03	-6.17
(5,17):	-0.67	-5.98	-10.91	-11.38	-6.58	-8.33	-3.56	-7.71	-12.57	-15.22	-7.43
(25,26):	2.28	-5.28	-9.96	-9.58	-6.99	-8.51	-6.94	-9.56	-6.89	-4.81	-5.83

GRUNDBRAND:

PUNKTE	40	41	45	48	71	50	51	52	53	54	88
(3, 7):	3.40	2.18	1.25	8.54	2.91	2.31	-1.01	4.59	6.64	3.61	-4.05
(1, 5):	-3.59	-0.42	-3.50	-3.66	-3.60	-1.16	0.24	-0.81	-3.10	-0.65	-2.16
(2, 6):	-0.79	3.17	-0.46	-2.05	-2.90	-2.54	-3.11	-2.95	-0.69	-0.55	-2.05
(4, 8):	1.15	2.34	1.05	-2.27	-1.42	0.80	-1.64	0.73	-2.01	-3.64	-3.13
(11,15):	-3.48	2.49	3.53	3.40	2.71	-0.22	-3.18	0.64	2.47	5.74	-1.75
(9,13):	-0.27	-4.69	-3.17	-1.90	-3.78	0.54	1.19	0.38	0.26	-5.71	-1.57
(10,14):	0.30	3.18	2.98	-0.37	0.48	-2.62	-3.40	-0.96	1.75	-0.83	1.19
(12,16):	2.93	0.27	2.50	3.99	1.00	-0.04	-0.03	-0.70	3.29	0.46	-0.55
(17,21):	1.28	-0.75	-2.61	0.93	-5.50	1.54	-5.06	-2.31	-4.53	-3.56	-1.13
(19,23):	3.44	1.95	1.82	1.95	6.14	4.53	1.55	1.90	1.17	4.90	-0.15
(18,22):	1.06	-0.73	4.30	0.92	-0.06	0.09	-0.31	1.44	-0.24	0.38	3.16
(20,24):	-0.92	-1.72	-0.69	1.32	1.96	1.67	-1.30	-0.13	0.41	-0.71	2.17
(5,17):	1.22	-1.37	0.11	-0.34	1.66	-0.75	-1.05	-1.42	0.93	0.50	-2.56
(25,26):	-1.30	1.14	1.19	-3.31	-5.82	-0.53	-1.68	0.77	1.14	-6.26	-2.12

Tab. 5: Computerausdruck: Vergleich der Änderungen aller Brücken

DENTINGRAD:	2 mm Schichtdicke					0,5 mm Schichtdicke					Brücken-gerüst unverblend.
PUNKTE	40	41	45	48	71	50	51	52	53	54	88
(3, 7):	-4.49	-1.27	1.40	-3.42	-1.29	-2.83	-3.39	-5.82	-6.09	4.74	3.15
(1, 5):	1.77	-3.47	0.71	-1.51	1.39	-0.83	0.09	0.86	-0.81	3.50	2.15
(2, 6):	-4.47	-2.76	-2.23	-2.84	2.72	-1.71	-0.21	-2.30	-2.98	-3.40	1.78
(4, 8):	-1.17	-2.54	-3.15	-1.00	-1.59	-4.56	-0.06	-6.21	-0.23	-2.80	1.42
(11,15):	-3.90	-3.35	-2.84	-6.33	-1.50	-4.27	-2.18	-1.94	-2.78	-9.32	0.94
(9,13):	2.65	2.47	3.38	1.12	2.38	-1.73	2.89	-1.96	-3.07	4.49	3.26
(10,14):	-2.12	-3.54	-4.49	-2.93	-0.48	0.60	1.47	-5.54	-3.41	-3.23	1.22
(12,16):	-4.43	-4.43	-4.99	-2.81	-0.51	-4.64	-5.12	-1.70	0.19	-2.30	1.42
(17,21):	-4.95	0.29	-3.23	-1.70	5.31	0.99	1.61	-0.21	-1.80	1.34	-2.01
(19,23):	0.86	-3.63	-1.72	-1.39	-2.76	-2.02	-2.21	-2.92	-2.30	-8.03	-1.05
(18,22):	-3.14	-3.33	-1.96	-1.21	1.71	-2.68	0.53	-2.55	-3.41	-5.44	1.30
(20,24):	-2.89	-3.65	-1.19	-0.79	-2.35	-2.26	0.23	-3.43	-0.69	1.95	-0.09
(5,17):	-5.86	-5.52	-3.17	-5.02	-3.42	-4.24	-5.33	-2.56	-3.01	-3.48	-3.63
(25,26):	-3.85	-1.31	0.04	3.73	3.78	-1.86	3.22	1.33	-2.41	0.13	-0.50

GESAMT: PUNKTE	40	41	45	48	71	50	51	52	53	54	88
(3, 7):	-2.88	3.41	3.25	1.94	-0.98	-1.16	-1.56	-0.48	-4.21	2.62	-2.08
(1, 5):	-4.51	-15.87	-10.73	-15.55	-9.80	-11.87	-7.31	-12.74	-13.00	-15.92	-10.83
(2, 6):	-4.65	-6.33	-8.09	-6.25	-1.36	-1.75	-1.63	-8.57	-6.92	-8.34	-2.54
(4, 8):	1.35	1.69	-2.70	-5.80	-4.95	-4.01	-2.19	-7.95	-8.36	-12.10	-4.05
(11,15):	-4.70	-1.40	1.56	-4.49	1.05	-6.32	-3.10	-1.35	-0.13	-7.11	-5.11
(9,13):	3.42	-7.85	-3.23	-9.75	-7.39	-7.62	-3.53	-10.28	-7.34	-8.76	-5.06
(10,14):	-0.97	-5.31	-4.05	-1.74	-5.70	-5.03	-1.13	-10.14	-10.12	-7.79	-6.45
(12,16):	-3.95	-7.94	-5.12	-11.37	-5.70	-6.63	-9.76	-6.95	-3.84	-4.58	-0.73
(17,21):	-2.28	-10.54	-8.40	-10.18	-5.16	-13.70	-11.63	-10.40	-12.39	-9.05	-15.28
(19,23):	0.47	2.75	2.46	4.23	-1.23	1.38	1.97	1.65	0.11	-7.85	-0.39
(18,22):	1.68	-1.58	0.74	2.10	-2.59	-8.28	-3.34	-5.13	-4.44	-8.70	-0.70
(20,24):	-5.72	-9.41	-2.54	-9.69	-2.37	-2.55	-2.61	-6.41	-5.82	-1.78	-4.69
(5,17):	-5.31	-12.88	-13.98	-16.74	-8.33	-13.32	-9.93	-11.69	-14.65	-19.20	-10.52
(25,26):	0.11	-5.45	-8.73	-9.15	-9.03	-10.89	-5.40	-7.45	-8.16	-10.94	-8.46

MITTELWERT UND VARIANZ

PUNKTE	(O - R) MITTEL	VAR	SIG	(G - O) MITTEL	VAR	SIG	(O - G) MITTEL	VAR	SIG	(GESAMT) MITTEL	VAR	SIG	KONTROLLE
(3, 7) :	-1.24	2.89	1	3.44	2.69	5	-2.21	3.37	1	-0.00	2.66	1	-2.08
(1, 5) :	-9.65	3.75	5	-2.02	1.59	5	-0.16	1.67	1	-11.83	3.91	5	-10.83
(2, 6) :	-2.07	3.06	1	-1.30	1.90	1	-2.02	2.00	1	-5.39	2.87	5	-2.54
(4, 8) :	-1.99	2.08	1	-0.49	1.94	1	-2.03	2.04	1	-4.51	4.30	1	-4.05
(11,15) :	-0.60	1.68	1	1.51	3.14	1	-3.56	2.68	5	-2.65	3.00	1	-5.11
(9,13) :	-6.26	2.91	5	-1.71	2.48	1	1.68	2.26	1	-6.29	4.12	5	-5.06
(10,14) :	-3.19	3.41	1	0.05	2.17	1	-2.07	2.31	1	-5.20	3.38	5	-6.45
(12,16) :	-4.83	3.22	5	1.37	1.66	1	-3.12	1.98	5	-6.58	2.50	5	-0.73
(17,21) :	-7.37	4.49	5	-2.06	2.71	1	0.06	2.67	1	-9.37	3.42	5	-15.28
(19,23) :	0.27	3.54	1	2.93	1.71	5	-2.61	2.25	5	0.59	3.33	1	-0.39
(18,22) :	-1.96	2.53	1	0.68	1.44	1	-1.65	2.31	1	-2.93	3.34	1	-0.70
(20,24) :	-3.37	2.78	5	-0.01	1.29	1	-1.51	1.76	1	-4.89	2.97	5	-4.69
(5,17) :	-8.39	4.55	5	-0.05	1.11	1	-4.16	1.19	5	-12.60	4.04	5	-10.62
(25,26) :	-6.62	3.60	5	-1.46	2.83	1	0.58	2.33	1	-7.51	3.28	5	-8.46

Tab. 7: Computerausdruck: Auswertung Änderungen aller Brücken

DANKSAGUNG

An dieser Stelle möchte ich allen denjenigen meinen herzlichsten Dank sagen, durch deren direkte oder indirekte Mithilfe diese Arbeit ermöglicht wurde.

Besonderen Dank gebührt Herrn Professor Dr. E. Körber für die Überlassung des Themas.

Herrn Priv.-Doz. Dr. W. B. Freesmeyer möchte ich sehr herzlich danken für die Betreuung und die wertvollen Hinweise und Ratschläge bei der Durchführung dieser Arbeit.

Für die großzügige Bereitstellung des benötigten Edelmetalles danke ich der Firma Dr. Th. Wieland, Pforzheim. Ferner danke ich Herrn Dr. W. Wirsching, Heilbronn, in dessen Zahnarztlabor die Versuche an den Brückengerüsten durchgeführt wurden. Bedanken möchte ich mich ebenfalls bei Herrn Dipl.-Informatiker R. Ege für die Auswertung der Meßdaten und das Aufstellen des Rechenprogrammes.

LEBENSLAUF

SCHARSCHMIDT, Klaus

6. November 1947	geboren in Stuttgart
von 1955 bis 1959	Volksschule Ludwigsburg
von 1959 bis 1967	Mörike-Gymnasium Ludwigsburg
6. Juni 1967	Abitur
Juli 1967 - Okt. 1968	Wehrdienst
ab WS 1968/69	Studium Maschinenbau an der Universität Stuttgart
Sept. 1970	Diplomvorprüfung Maschinenbau
ab SS 1971	Studium Technische Kybernetik an der Universität Stuttgart
Juli 1974	Diplomhauptprüfung Technische Kybernetik
Sept. 1974 - März 1975	Assistent am Institut für Verfahrenstechnik und Dampfkesselwesen der Universität Stuttgart
ab SS 1975	Studium Zahnheilkunde an der Universität Tübingen
März 1976	Vorphysikum Zahnheilkunde
Okt. 1977	Physikum Zahnheilkunde
16. Juni 1980	Staatsexamen Zahnheilkunde
Sept. 1980 - Aug. 1982	Ausbildungsassistent bei Dr. Wirsching, Heilbronn
Sept. 1982 - Febr. 1984	Entlastungsassistent bei Dr. Kölker, Essen-Kettwig
ab April 1984	Zahnarzt in eigener Praxis in Ludwigsburg

Offsetdruck Spengler
Lessingstraße 4 · 7401 Neustetten 1
Telefon (0 74 72) 2 21 45